

# ANALISIS PERFORMANSI PENGARUH NON-LINEARITAS FOUR WAVE MIXING (FWM) PADA SISTEM KOMUNIKASI JARAK JAUH BERBASIS DWDM

## PERFORMANCE ANALYSIS OF THE EFFECT OF NON-LINEARITY OF FOUR WAVE MIXING (FWM) ON DWDM-BASED DISTANCE COMMUNICATION SYSTEM

Tiara Mustika<sup>1</sup>, Ir. Akhmad Hambali, M.T.<sup>2</sup>, M Irfan Maulana, S.T., M.T.<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

<sup>1</sup>tiaramustik@gmail.com, <sup>2</sup>bphambali@gmail.com, <sup>3</sup>kuliah.im@gmail.com

### Abstrak

Perkembangan Sistem Komunikasi Serat Optik (SKSO) terus mengalami kemajuan dari tahun ke tahun. Teknologi dari sistem komunikasi serat optik yang berkembang sangat pesat adalah teknologi *Dense Wavelength Division Multiplexing* (DWDM). DWDM mempunyai beberapa kelebihan dibandingkan dari teknologi terdahulu. Akan tetapi dibalik kelebihan yang dimiliki DWDM, terdapat kekurangan yang sangat mempengaruhi kinerja teknologi tersebut seperti efek non linearitas fiber yaitu *Four Wave Mixing* (FWM).

Pada pembuatan tugas akhir ini, dibuat pemodelan link DWDM pada perangkat lunak untuk mengetahui pengaruh dari FWM tersebut, dan terdapat dua skenario simulasi. Pada skenario pertama, variabel-variabel input yang dirubah adalah bitrate link dan jarak link. Pada skenario kedua yang dirubah adalah daya transmitter.

Bitrate 10 Gbps dengan jarak dengan jarak 200 km memiliki performansi terbaik dengan q-Factor 3. Bitrate 40 Gbps dengan jarak 100 km memiliki performansi Q-factor 3,224. Bitrate 100 Gbps bahwa performansi terbaik pada jarak 100 km. Pengaruh daya transmitter pada bitrate 10 Gbps memiliki performansi terbaik pada skenario sebelumnya bahwa performansi terbaik pada link dengan daya transmitter 0 dBm dengan daya q-factor sebesar 3,37157. Pengaruh daya transmitter pada bitrate 40 Gbps, Perubahan pada daya transmitter pada link yang mengalami performansi terbaik pada skenario sebelumnya bahwa performansi terbaik pada link dengan daya transmitter 0 dBm dengan daya q-factor sebesar 4,0113. Pengaruh daya transmitter pada bitrate 100 Gbps, performansi terbaik pada skenario sebelumnya bahwa performansi terbaik pada link dengan daya transmitter -2.9 dBm dengan daya q-factor sebesar 2,43272.

**Kata Kunci :** Dense Wavelength Division Multiplexing, Four Wave Mixing, Bit Error Rate, Q-factor

### Abstract

Nowadays, The development of the Optical Fiber Communication Systems (SKSO in Indonesian) continued to progress from year to year. *Dense Wavelength Division Multiplexing* (DWDM) is one of technology of optical fiber communication systems which grows so fast. DWDM also has several advantages over previous technology. Besides the advantages of DWDM, there are deficiencies which greatly affect the performance of these technologies such as non-linearity effects *Four Wave Mixing* (FWM).

In this final assignment, there is a modelling of DWDM link was made from software that use the determine the effect of the FWM. And there are also two simulation scenario. In first scenario, the variable input that are changed is the bitrate links and link distance. The second scenario, the variable that is changed is the transmitter power.

A 10 Gbps bitrate with a distance of 200 km has the best performance with q-Factor 3. A 40 Gbps bitrate with a distance of 100 km has a Q-factor performance of 3,224. Bitrate of 100

Gbps that the best performance at a distance of 100 km. The effect of transmitter power on 10 Gbps bitrate has the best performance in the previous scenario that the best performance on a link with 0 dBm transmitter power with q-factor power of 3.37157. Effect of transmitter power at 40 Gbps bitrate, Changes in transmitter power on the link that experiences the best performance in the previous scenario that the best performance on the link with transmitter power is 0 dBm with a q-factor power of 4.0113. The effect of transmitter power on 100 Gbps bitrate, the best performance in the previous scenario that the best performance on the link with transmitter power is -2.9 dBm with q-factor power of 2.43272.

**Keyword:** Dense Wavelength Division Multiplexing, Four Wave Mixing, Bit Error Rate, Q-factor

## 1. Pendahuluan

Teknologi DWDM merupakan perbaikan dari teknologi WDM yang telah dikembangkan sebelumnya, yaitu dengan memperkecil spasi antar kanal, sehingga terjadi peningkatan jumlah kanal yang mampu di multiplex. DWDM adalah suatu teknik transmisi yang memanfaatkan cahaya dengan panjang gelombang yang berbeda-beda sebagai kanal-kanal informasi, sehingga setelah dilakukan proses multiplexing seluruh panjang gelombang tersebut dapat di transmisikan melalui sebuah serat optik.

Berdasarkan penelitian dari berbagai referensi bahwa, dibalik kelebihan dari teknologi *Dense Wavelength Division Multiplexing* (DWDM) terdapat pula kelemahannya. Salah satu kelemahannya adalah efek non linearitas yang disebabkan oleh tidak linearnya medium dari serat optik.

Pada penelitian kali ini penulis membahas secara khusus untuk efek non linearitas pada serat optik *Four Wave Mixing* pada performansi Dense Wavelength Division Multiplexing dengan cara merubah jarak link, spasi kanal, bitrate, dan daya pengiriman sinyal. Dari penelitian ini di harapkan menganalisis efek non linearitas fiber Four Wave Mixing dari nilai Q-factor pada performansi Dense Wavelength Division Multiplexing.

## 2. Dasar Teori

### 2.1 Efek non Linearitas

Sistem DWDM seringkali terjadi gangguan dalam proses transmisi sinyal seperti efek non-linear dan dispersi. Efek non linear merupakan efek yang memperburuk kinerja sistem pada saat mentransmisikan sinyal informasi sehingga mempengaruhi performa sistem, penggunaan kanal, dan degradasi sinyal. Interaksi daya yang terjadi pada medium bias berhubungan dengan *kerr effect*, dimana penyebab kerr effect adalah indeks bias refraktif yang berubah-ubah akibat intensitas daya optik, fenomena tersebut ditunjukkan dalam rumus dibawah ini

$$n = n_0 + n_2 I$$

Dimana n adalah indeks bias reaktif,  $n_0=1,5$  dan  $n_2=3 \times 10^{-20} \text{m}^2/\text{W}$  dan I= Intensitas daya pada optik [2] [1]

### 2.2 Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM)

DWDM adalah suatu teknik transmisi yang memanfaatkan cahaya dengan panjang gelombang yang berbeda-beda sebagai kanal-kanal informasi, sehingga setelah dilakukan proses multiplexing seluruh panjang gelombang tersebut dapat di transmisikan melalui sebuah serat optik [3]

### 2.3 Four Wave Mixing (FWM)

Salah satu jenis dari efek non linearitas fiber optik dan juga kekurangannya dari teknologi DWDM yaitu Four Wave Mixing. Efek non linear ini mengakibatkan munculnya beberapa pulsa baru yang ikut di transmisikan. Sinyal tersebut muncul akibat indeks bias

non-linear dan menyebabkan termodulasinya sinyal baru yang mempunyai nilai spektrum yang hampir sama dengan frekuensi informasi.

FWM mnghasilkan terbatasnya performansi dari semua jaringan optik DWDM. Jika FWM ini terjadi maka akan muncul spektrum frekuensi yang akan mengganggu sinyal informasi serta mengganggu nilai akurasi dari receiver dan menyebabkan tingginya nilai Bit Error Rate [4].

## 2.4 Erbium Doped Fiber Amplifier (EDFA)

EDFA adalah suatu sistem optik yang dapat mengurangi biaya serta meningkatkan network Performance dalam sistem komunikasi optik. . Teknologi penguat optik memungkinkan munculnya teknologi DWDM dengan kecepatan tinggi dan volume transmisi tinggi [3].

## 2.5 Q-factor dan Bit Error Rate

Q-factor adalah faktor kualitas yang akan menentukan bagus atau tidaknya kualitas suatu link atau jaringan DWDM. Dalam sistem komunikasi serat optik khususnya DWDM, nilai Q-Factor yang digunakan sebagai tolak ukur adalah minimal 6, atau  $10^{-9}$  dalam Bit Error Rate (BER).

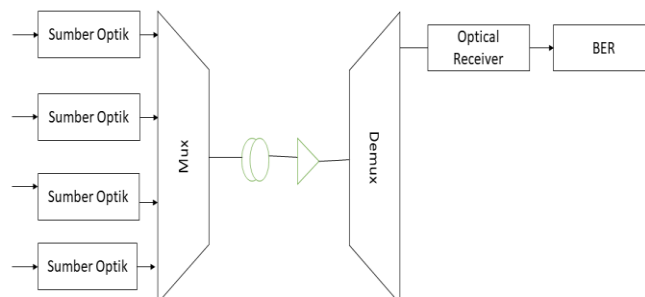
BER didefinisikan sebagai jumlah terjadinya error tiap jumlah bit data terkirim pada suatu sistem digital. Apabila jmlah bit error adalah  $N_E$  dan jumlah bit total terkirim adalah  $N_T$  maka :

$$BER = \frac{N_E}{N_T}$$

Pada jaringan komunikasi optik secara umum, nilai BER yang harus dipenuhi adalah BER  $10^{-6} - 10^{-12}$ . Artinya, tiap  $10^9$  hingga  $10^{12}$  bit data yang dikirim, *error* yang terjadi hanyalah pada 1 bit. BER juga disebut dengan *error probability* ( $P_e$ ), atau pprobabilitas munculnya *error* dalam transmisi data [4].

## 3. Perancangan dan simulasi Sistem

Dalam penelitian ini, akan dilakukan analisis terjadinya four wave mixing dengan diagram blok sistem. Diagram blok sistem terbagi menjadi tiga yaitu blok pengirim, blok transmisi, dan blok penerima. Blok pengirim terdiri dari sumber optik dan multiplexer, blok transmisi terdiri dari serat optik dan EDFA. Dan blok penerima terdiri dari demultiplexer dan detektor optik. Menggunakan software simulator. Blok pengirim terdiri dari transmitter, patch cord, connector dan multiplexer, media transmisi terdiri dari Embrium Doped Fiber Amplifier (EDFA), connector dan serat optik, lalu di blok penerima terdiri dari demultiplexer, detektor optik serta receiver.



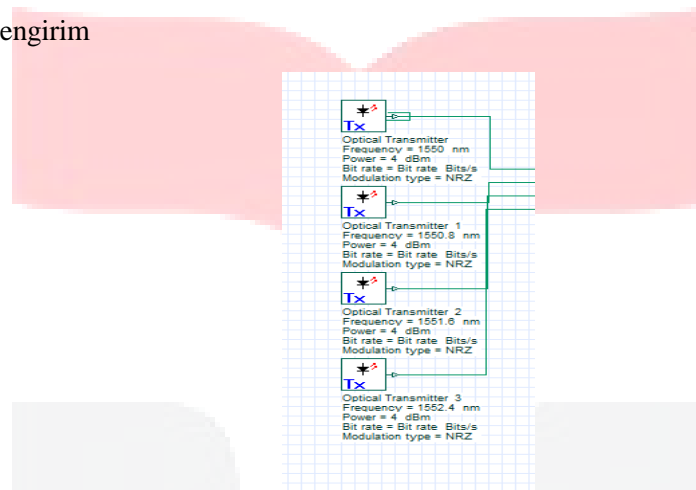
Gambar 1 diagram blok sistem

Dalam Diagram Blok Sistem terbagi menjadi tiga bagian yang terdiri dari blok pengirim, media transmisi, dan blok penerima. Dalam Tugas Akhir ini, dilakukan simulasi terhadap terjadinya

efek non linearitas jenis *Four Wave Mixing* (FWM) pada *Dense Wavelength Division Multiplexing* (DWDM) Dengan menggunakan software simulator. Blok pengirim terdiri dari sumber optik dan multiplexer, media transmisi terdiri dari serat optik dan EDFA, dan blok penerima terdiri dari demultiplexer dan detektor optik.

Penelitian ini digunakan 2 kali skenario pada simulasi. Skenario pertama adalah perubahan-perubahan variabel-variabel pada bitrate link dan jarak link. Pada tugas akhir ini simulasi menggunakan bitrate 10 Gbps, 40 Gbps, dan 100 Gbps. Jarak yang digunakan sebesar 100 km, 200 km, 300 km, dan 500 km. Pada skenario kedua adalah mengubah daya transmitter. Besar daya yang digunakan pada skenario ini berbeda untuk setiap bitrate karena disesuaikan dengan perangkatnya masing-masing.

### 3.1.1 Blok Pengirim



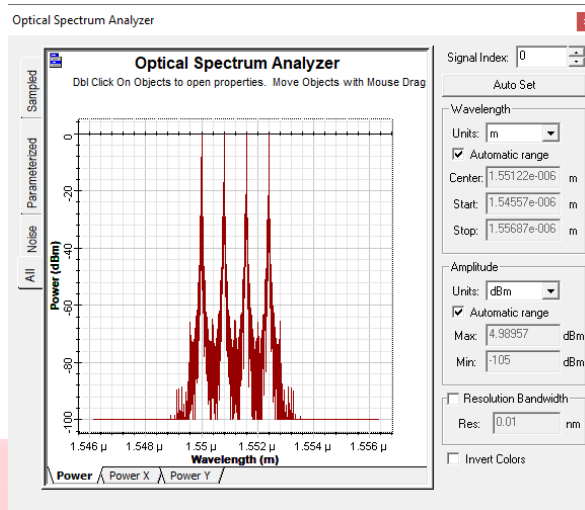
Gambar 2 Blok pengirim

#### 3.1.1.1 Laser

Laser dibutuhkan untuk sumber optik yang akan dikirimkan dari transmitter ke receiver, karena pada simulasi digunakan jarak link yang jauh antara transmitter dan receiver, maka diperlukan daya laser yang besar. Laser merupakan sumber optik yang memancarkan cahaya karena mekanisme pancaran emisi terstimulasi. Karena pancaran cahaya yang memusatkan cahaya maka laser cocok digunakan dalam sistem komunikasi serat optik jarak jauh. Laser digunakan dalam penelitian kali ini karena jarak yang jauh antara pengirim dan penerima. Terdapat 4 macam jarak yang digunakan dalam penelitian ini yaitu 100 km untuk jarak dekat, 200 km dan 300 km untuk jarak menengah, dan 500 km untuk jarak jauh.

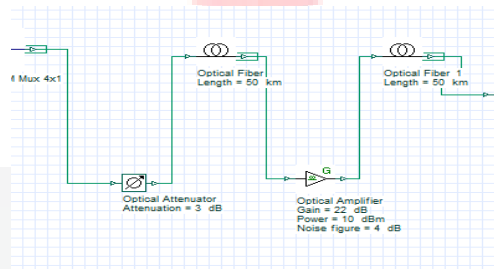
#### 3.1.1.2 Multiplexer DWDM

Multiplexer digunakan untuk mengirimkan sinyal pada panjang gelombang yang berbeda-beda secara bersamaan dalam satu fiber, sesuai dengan penelitian kali ini yang akan mengirimkan 4 gelombang yang berbeda secara bersamaan. Karena alasan itu penelitian ini menggunakan perangkat multiplexer. Multiplexer yang digunakan yaitu *Dense Wavelength Division Multiplexing* (DWDM). Penggunaan DWDM ini dikarenakan perangkat ini memiliki kemampuan untuk mengirimkan panjang gelombang dalam jumlah yang banyak dan untuk jarak yang jauh serta mampu mentransmisikan semuanya ke dalam 1 fiber saja, sehingga penggunaan DWDM ini merupakan pilihan yang tepat untuk penelitian ini.



Gambar 3 Spektrum sinyal hasil keluaran dari multiplexer

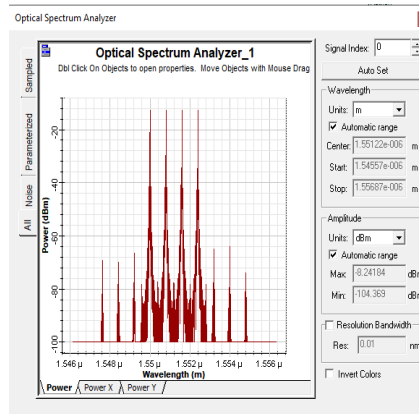
### 3.1.2 Blok Transmisi



Gambar 4 Blok Transmisi

#### 3.1.2.1 Serat Optik

Serat Optik sebagai media transmisi berfungsi sebagai merambatkan cahaya pada sistem komunikasi serat optik. Serat optik yang digunakan pada penelitian ini yaitu berjenis *single mode*, serat optik ini cocok untuk panjang gelombang 1530 nm dan 1565 nm (*C band*). Penggunaan serat optik *single mode* dikarenakan serat optik jenis ini memiliki banyak kelebihan seperti bandwidth yang lebar sehingga memungkinkan transmisi kanal yang banyak, dan memiliki efek dispersi yang minim. Agar mendapatkan efek non-linearitas pada simulasi yang dilakukan, serat optik yang digunakan adalah serat optik yang mempunyai indeks non linear ( $n_2$ ) dengan nilai sebesar  $n_2 = 2.6 \times 10^{-20} \text{ m}^2/\text{W}$ , dari nilai yang di dapat serat optik akan disimulasikan dan akan menimbulkan sinyal baru yang tidak diinginkan dari ketidak linearan *Four Wave Mixing* pada fiber.

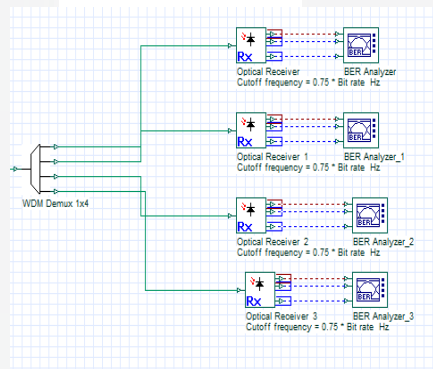


Gambar 5 Spektrum sinyal dengan indeks bias non linear

### 3.1.2.2 EDFA

EDFA atau *Erbium-doped Fiber Amplifier* digunakan dalam penelitian tugas akhir ini sebagai penguat optik. Penguat optik ini dibutuhkan karena daya yang dikirimkan dari transmitter akan semakin melemah seiring dengan jauhnya jarak transmisi. Penggunaan EDFA dikarenakan sangat cocok dalam komunikasi jarak jauh karena *Erbium-doped Fiber Amplifier* (EDFA) sangat efisien dalam penguatan daya sinyal pada serat optik. [5]

### 3.1.3 Blok Penerima



Gambar 6 blok penerima

#### 3.1.3.1 Demultiplexer DWDM

Terminal DWDM demultiplexer ini merupakan kebalikan dari DWDM multiplexer yang sebelumnya telah dijelaskan. Demultiplexer diperlukan karena mampu memisahkan panjang gelombang yang terdapat dalam 1 fiber ke dalam fiber yang berbeda-beda, sehingga setelah sinyal melewati demultiplexer maka setiap fiber hanya berisi 1 panjang gelombang saja.

#### 3.1.2.1 Photodetector APD

Penggunaan Photodetector APD pada penelitian ini sebagai detector optik. Detektor optik berfungsi sebagai penerima cahaya yang telah di transmisikan dan merubahnya kembali

dari sinyal cahaya menjadi sinyal listrik. Photodetector APD memiliki karakteristik high response, sensitif, memiliki noise yang rendah, tidak sensitif terhadap suhu, cocok dengan komunikasi serat optik jarak jauh, tahan lama, dan murah.

### 3.2 Skenario Penelitian

#### 3.2.1 Pemodelan Diagram Blok sistem

Beraskan blok sistem, pada penelitian ini dibuat pemodelan istem pada software Optisystem menyerupai diagram blok sistem yang telah di jelaskan diatas, sesuai dengan blok sistem, pemodelan ini terdiri dari sumber optik, DWDM mux, serat optik, EDFA, DWDM demux, dan detektor optik. Dimana variabel-variabel input yang berubah-ubah adalah bitrate link, jarak link, dan daya pengirim sinyal.

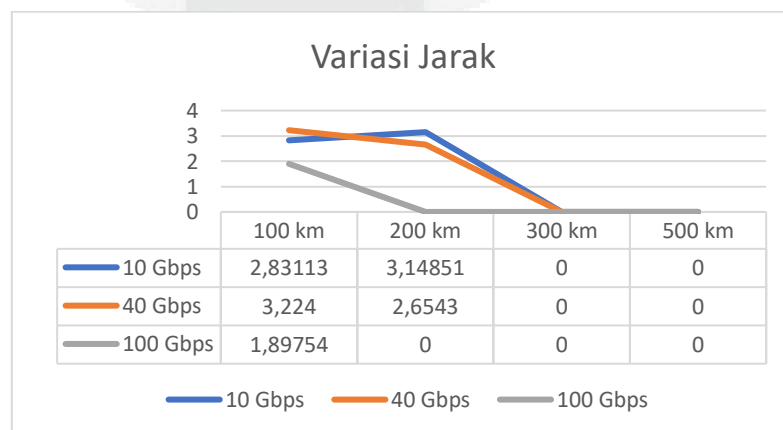
#### 3.2.2 Merubah Variasi Input

Pada skenario pertama, variabel-variabel input yang berubah-ubah adalah bitrate link dan jarak link. Pada skenario ini, link yang memiliki bitr error rate terbesar atau -factor terkecil dari hasil simulasi pada skenario 1 akan diambil dan diubah lagi salah satu variabelnya. Pada skenario kedua yang diubah adalah daya pengirim atau transmitter.

Penelitian kali ini digunakan dengan tiga skenario pada simulasi. Skenario pertama adalah perubahan variabel-variabel pada *bitrate* link dan jarak link. Pada tugas akhir ini simulasi menggunakan *bitrate* 10 Gbps, 40 Gbps, dan 100 Gbps yang sesuai dengan spesifikasi perangkat. Lalu jarak yang digunakan dikategorikan dalam jarak pendek, jarak menengah, dan jarak jauh. Jarak pendek sejauh 100 km, jarak menengah sejauh 200 km dan 300 km, serta jarak panjang sejauh 500 km. Pada skenario kedua adalah mengubah spasi kanal, spasi kanal yang digunakan pada simulasi merupakan standard dari ITU-T G.671 yaitu 0.2 nm, 0.4 nm, 0.8 nm, dan 1.6 nm namun pada perangkat yang diuji spasi kanal yang tersedia hanya 0.4 nm dan 0.8 nm. Lalu pada skenario terakhir yaitu skenario ketiga variabel yang diubah adalah daya transmitter. Besar daya yang digunakan pada skenario ini berbeda untuk setiap *bitrate* karena disesuaikan dengan perangkatnya masing-masing.

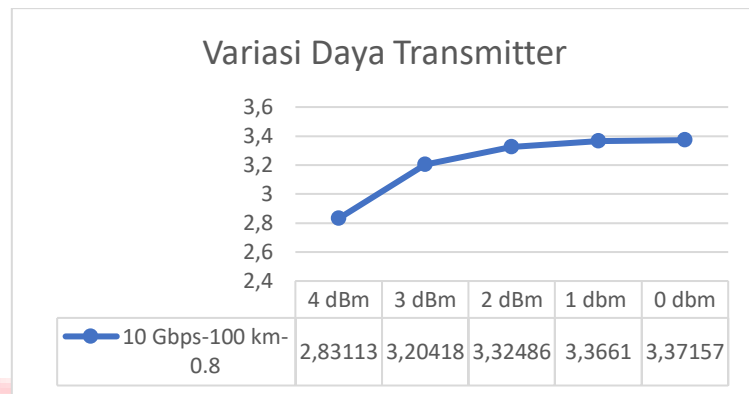
#### 3.2.3 Analisa Hasil Perubahan

Setelah dilakukan perubahan variabel disemua skenario maka didapatkan hasil nilai q-factor yang berbeda-beda. Hasil yang didapat membuktikan baha efek non linear four Wave Mixing sangat berpengaruh pada performansi link dense Wavelength Division Multiplexing. Hasil dari skenario dibuatkan grafik pada gambar berikut

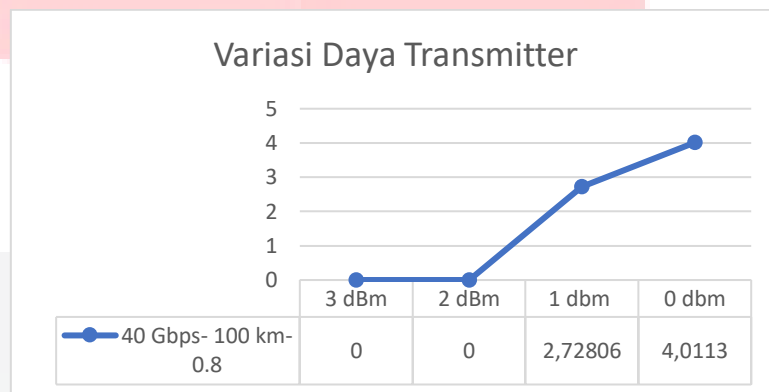




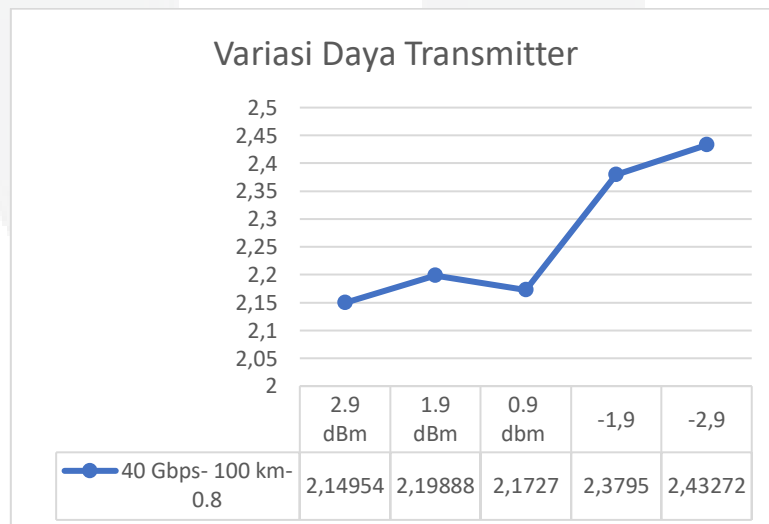
## Hasil Q-factor skenario pertama



Pengaruh Daya transmitter pada bitrate 10 Gbps, jarak 100 km, dengan spasi kanal 0,8



Pengaruh daya transmitter pada bitrate 40 Gbps, dengan jarak 100 km, spasi kanal 0,8



Pengaruh daya transmitter pada bitrate 100 Gbps, jarak 100 km, dan spasi kanal 0.8

Dapat dilihat dari keempat gambar berikut hasil performansi yang di dapat, semua nilai performansi link DWDM tidak cukup bagus untuk parameter link DWDM, Karena performansi link DWDM, karena performansi link DWM yang bagus adalah link yang memiliki Q-factor



lebih dari sama dengan 6. Hal ini terjadi karena pengaruh dari efek non linearitas fiber Four Wave Mixing.

#### 4. Kesimpulan

1. Efek non linear *Four Wave Mixing* membawa dampak yang sangat buruk bagi performansi sistem komunikasi serat optik di *link Dense Wavelength Division Multiplexing* (DWDM), terlihat dari hampir semua nilai *Q-factor* masih belum memenuhi *standard* nilai kelayakan sistem.
2. Variasi jarak dan besarnya *bitrate* pada skenario pertama juga sangat mempengaruhi performansi *link Dense Wavelength Division Multiplexing* (DWDM), semakin jauh jarak yang diuji semakin buruk nilai *Q-factor* yang di dapat.
3. Hasil performansi buruk yang diakibatkan oleh efek non linear Four Wave Mixing dapat diperbaiki dengan mengubah daya transmitter
4. Bitrate 10 Gbps dengan jarak dengan jarak 200 km memiliki performansi terbaik dengan q-Factor 3,14851, sedangkan performansi terburuk adalah link dengan jarak 300 km dan 500 km dengan q-factor sebesar 0.
5. Bitrate 40 Gbps dengan jarak 100 km memiliki performansi Q-factor 3,224, sedangkan performansi terburuk aalah link dengan jarak 300 km dengan q-factor sebesar 0.
6. Bitrate 100 Gbps bahwa performansi terbaik pada jarak 100 km, dan performansi terburuk adalah pada jarak 200 km, 300 km, 500 km.
7. Pengaruh daya transmitter pada bitrate 10 Gbps memiliki performansi terbaik pada skenario sebelumnya bahwa performansi terbaik pada link dengan daya transmitter 0 dBm dengan daya q-factor sebesar 3,37157 dan performansi terburuk adalah link dengan daya transmitter 4 dBm dengan q-factor sebesar 2,8113.
8. Pengaruh daya transmitter pada bitrate 40 Gbps , Perubahan pada daya transmitter pada link yang mengalami performansi terbaik pada skenario sebelumnya bahwa performansi terbaik pada link dengan daya transmitter 0 dBm dengan daya q-factor sebesar 4,0113 dan performansi terburuk adalah link dengan daya transmitter 3 dBm dan 4 dBm dengan q-factor sebesar 0.
9. Pengaruh daya transmitter pada bitrate 100 Gbps, performansi terbaik pada skenario sebelumnya bahwa performansi terbaik pada link dengan daya transmitter -2.9 dBm dengan daya q-factor sebesar 2,43272 dan performansi terburuk adalah link dengan daya transmitter 2.9 dBm sebesar 2,14954.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. R. Firnadya, A. Hambali dan A. D. Pambudi, "Analisis Efek Non linearitas Fiber pada link sistem komunikasi serat optik," *e-proceeding of engineering*, vol. 2, p. 2596, 2015.
- [2] J. Wiley, *Hight Capacity Optical Transmission Explained*, United Kingdom: University Of Essex, 1995.
- [3] Y. dan E. Wismiana, "Teknologi Dense Wavelength Division Mutlipexing Pada Jaringan Optik," *Jurnal Teknologi*, vol. 1, pp. 33-39, 2013.
- [4] B. Pamukti, "Simulasi dan Analisis Efek non linear pada link DWDM dengan multi spasi dan multi Lamda menggunakan transmisi pulsa soliton," *Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom, Bandung*, 2014.

